

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10189562 A**

(43) Date of publication of application: **21 . 07 . 98**

(51) Int. Cl

H01L 21/31
H01L 21/205
H01L 21/316

(21) Application number: **09279211**

(22) Date of filing: **13 . 10 . 97**

(30) Priority: **21 . 10 . 96 JP 08278011**

(71) Applicant: **TOSHIBA ELECTRON ENG
CORP TOSHIBA CORP**

(72) Inventor: **FURUKAWA CHISATO
ISHIKAWA MASAYUKI
SUGAWARA HIDETO
ISOMOTO KENJI**

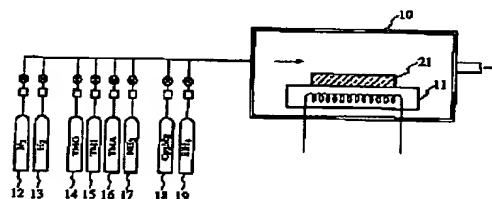
**(54) COMPOUND SEMICONDUCTOR DEVICE AND ITS
MANUFACTURE**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a compound semiconductor device and a method for manufacturing the same by decreasing the number of manufacturing processes and protecting the surface of a growth layer to improve quality.

SOLUTION: A substrate 21 is placed in a deposition chamber, and a GaN buffer layer, an n-GaN layer, an InGaN active layer, a p-AlGaN layer and a p⁺-GaN contact layer are grown by MOCVD method using growth materials of TMG(trimethyl gallium), TMI(trimethyl indium), TMA(trimethyl aluminum), NH₃ gas, and SiH₄ gas. SiH₄ gas is supplied with the compound semiconductor device placed in the deposition chamber to successively grow a protective thin film on the surface of the p⁺-GaN contact layer.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO



酸化防止の記録をし

USP 5,930,656

(19) 日本国特許庁 (J.P.)

(12) 公開特許公報 (A)

465T GaN and SiON V'ert
(11) 特許出願公開番号

特開平10-189562

(43) 公開日 平成10年(1998) 7月21日

(51) Int.Cl.⁶
H01L 21/31
21/205
21/316

F I
H01L 21/31
21/205
21/316
B
X

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平9-279211

(22) 出願日 平成9年(1997)10月13日

(31) 優先権主張番号 特願平8-278011

(32) 優先日 平8(1996)10月21日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000221339

東芝電子エンジニアリング株式会社
神奈川県川崎市川崎区日進町7番地1

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝
神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 古川 千里

神奈川県川崎市川崎区日進町7番地1 東
芝電子エンジニアリング株式会社内

(72) 発明者 石川 正行

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1 株式会
社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 弁理士 三好 秀和 (外3名)

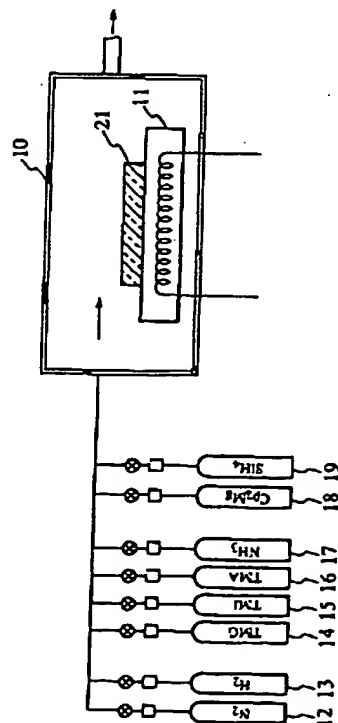
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 化合物半導体装置及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 製造工程数を減らし、成長層表面を保護し、品質を向上させれる化合物半導体装置及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 基板21を成長室10内に設置し、TMG、TMI、TMA、NH₃ガス、及びSiH₄ガスの成長材料を用いてMOCVD法により、GaNバッファ層、n-GaN層、InGa_{0.5}N活性層、p-AlGa_{0.5}N層、p⁺-GaNコンタクト層を成長させる。この化合物半導体装置を成長室10に設置したままSiH₄ガスを供給し、p⁺-GaNコンタクト層の表面に保護薄膜を連続成長させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、該基板上に積載された1層以上の成長層と、該成長層の最上層上に誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜が形成される化合物半導体装置において、前記成長層と誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜が、同一製造装置内で連続形成されたものであることを特徴とする化合物半導体装置。

【請求項2】 基板上に1層以上の成長層を積載させる工程と、該工程によって積載された前記成長層の最上層上に誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜を形成する工程とを同一製造装置内で連続して行うことを特徴とする化合物半導体装置の製造方法。

【請求項3】 前記誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜が、少なくともSiを含むことを特徴とする請求項1記載の化合物半導体装置。

【請求項4】 前記誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜が、窒化シリコン(SiNx)膜、酸化シリコン(SiO₂)膜あるいはオキシナイトライド(SiON)膜のいずれかの膜である請求項3記載の化合物半導体装置。

【請求項5】 前記誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜の生成材料として、シリコン(Si)系ガスと、窒素(N)系ガスもしくは酸素(O)系ガスとを用いる請求項2記載の化合物半導体装置の製造方法。

【請求項6】 前記Si系ガスが、モノシラン(SiH₄)もしくはジシラン(Si₂H₆)ガスであり、前記O系ガスが、二酸化窒素(N₂O)であり、前記N系ガスが、アンモニア(NH₃)である請求項5記載の化合物半導体装置の製造方法。

【請求項7】 前記基板が、サファイア基板であり、前記成長層の少なくともいずれかの層が、In_xAl_yGa_{1-x-y}N (0 ≤ X ≤ 1) (0 ≤ Y ≤ 1) で表される層である請求項1、3、4に記載の化合物半導体装置。

【請求項8】 前記基板が、シリコン(Si)、炭化シリコン(SiC)或いはGaAs基板のいずれかであり、前記成長層の少なくともいずれかの層が、In_xAl_yGa_{1-x-y}N (0 ≤ X ≤ 1) (0 ≤ Y ≤ 1) で表される層である請求項1、3、4に記載の化合物半導体装置。

【請求項9】 前記In_xAl_yGa_{1-x-y}N (0 ≤ X ≤ 1) (0 ≤ Y ≤ 1) で表される層が、GaN、AlN、InGaN、AlGaN、もしくはInAlGaNのいずれかである請求項7または8に記載の化合物半導体装置。

【請求項10】 前記誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜の形成の際に、p型あるいはn型の不純物を添加することを特徴とする請求項2、5、6のいずれかに記載の化合物半導体装置の製造方法。

【請求項11】 前記p型不純物が、MgあるいはZnの一方であることを特徴とする請求項10記載の化合物

半導体装置の製造方法。

【請求項12】 前記不純物が添加された前記誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜に、前記同一製造装置内で、連続した熱処理を行うことを特徴とする請求項10または11記載の化合物半導体装置の製造方法。

【請求項13】 前記誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜を形成する工程終了後、連続して前記同一製造装置内で、前記基板を300℃～1300℃内のいずれかの温度で保持、もしくは1300℃～300℃の範囲内で、前記誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜を形成する工程終了時の基板温度から一定速度で徐冷を行うことを特徴とする請求項2、5、6いずれかに記載の化合物半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、窒素化合物系の化合物半導体装置及びその製造方法に関し、特に少ない工程で成長層の表面を効率良く保護することができる化合物半導体装置及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、化合物半導体装置の開発が盛んに行われている。図7は、窒化ガリウム系化合物半導体のひとつである青色発光ダイオードの構成例を示す断面図である。同図に示すように、この化合物半導体装置には、サファイア基板101上に、GaNバッファ層103、n-GaN層105、InGaN活性層107、p-AlGaN層109、及びp+-GaNコンタクト層111の各成長層が複数積載されている。

【0003】さらに、これら成長層の最上層であるp+-GaNコンタクト層111の上には、誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜(例えばSiO₂膜あるいはSiNx膜)からなる保護薄膜113が形成されている。

【0004】従来の製造方法においては、まずMOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法を用いてサファイア基板101上に各成長層103～111をエピタキシャル成長させる。その後、主な反応ガスを止め、キャリアガスとV族ガスであるNH₃のみはそのまま成長室内に供給しながら降温する。

【0005】基板温度が十分下がったら、これを成長室から取り出し、酸化や窒化された表面を軽くエッチングした後、別の製造装置内に移し、成長層111上に保護薄膜113であるSiO₂膜あるいはSiNx膜等を形成する。

【0006】例えば熱CVD法を用いて保護薄膜113を形成する場合は、それがSiO₂膜であれば基板温度を350℃～500℃とし、SiNx膜であれば基板温度を800℃～1200℃として成膜を行う。P-CVD (plasma assisted chemical vapor deposition) 法を用いて保護薄膜113を形成する場合は、低真空条件の下、基板温度を100℃～300℃の範囲で成膜を行

うことができる。

【0007】保護薄膜113を所定の製造装置内で形成した後は、再び十分に基板温度を下げた後、その製造装置から基板を取り出し、さらにこれを所定のアニール装置に移し、窒素雰囲気中で基板のアニールを行う。このアニール工程により、所定の成長層に添加されたp型不純物はより活性化し、良好なp型導電性を示すようになる。

【0008】成長層103~111の最上層表面に形成される保護薄膜113の主な機能は、成長層表面を保護することである。保護薄膜113で被覆された成長層は、表面の酸化や、汚染、傷等を生じにくくなる。特に、化合物半導体装置においては、GaAs系でのAs抜け、InP系でのP抜け、GaN系でのN抜け等、蒸気圧の高いV族元素の蒸発が問題となることがあるが、保護薄膜113は、これらの問題を未然に防ぐためにも有効である。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述したように、従来の製造方法では、各成長層103~111のエピタキシャル成長と保護薄膜113の成膜は別個の装置で行っていた。このため、成長層103~111形成後にMOCVD装置から取り出される化合物半導体装置は成長層表面が露出した状態になっており、外部の影響を受けやすい。特に成長層表面がAl等の酸化しやすい材料や窒化しやすい元素を組成に含む場合には、成長装置から取り出した瞬間から酸化や窒化が始まる。これら酸化や窒化は、欠陥となって化合物半導体装置の信頼性を低下させる要因ともなる。

【0010】そこで通常は保護薄膜113を形成する前に、酸化や窒化された成長層の表面を軽くエッチングしている。しかしこの表面処理によって余計に表面が荒れたりあらたな汚染を生じる場合もあった。

【0011】また保護薄膜113を形成する工程では、化合物半導体装置を所定の製造装置内に載置した後、熱CVD法の場合は350℃~500℃あるいは800℃~1200℃、P-CVD法の場合は100℃~300℃まで窒素雰囲気中で昇温される。この昇温過程において、成長表面は露出した状態であるため、成長層表面に穴が開くなどの結晶劣化(III-V系で言えばV族抜け等)が発生することがある。特に真空中で昇温する場合は、蒸気圧はより高くなり、結晶劣化が発生しやすくなる。

【0012】本発明は、この様な従来の事情に鑑みて成されたものであり、その目的とするところは、より清浄な成長層表面を有する化合物半導体装置とこれをより簡易な工程で製造しうる製造方法を提供することである。

【0013】

【課題を解決するための手段】第一の発明の特徴は、化合物半導体に関し、基板と、該基板上に積載された1層

以上の成長層と、該成長層の最上層上に誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜が生成されている化合物半導体装置において、前記成長層と誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜は、同一製造装置内で連続形成されたものとするところである。

【0014】第二の発明の特徴は、化合物半導体装置の製造方法に関し、基板上に1層以上の成長層を積載させる工程と、該工程によって積載された前記成長層の最上層上に誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜を形成する工程とを同一製造装置内で連続して行うところである。

【0015】第三の発明の特徴は、上記第一の発明において、前記誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜が、少なくともSiを含むところである。

【0016】第四の発明の特徴は、上記第三の発明において、前記誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜が、窒化シリコン(SiNx)膜、酸化シリコン(SiO₂)膜あるいは窒化酸化シリコン(SiON)膜のいずれかの膜であるところである。

【0017】第五の発明の特徴は、上記第二の発明において、前記誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜の生成材料として、シリコン(Si)系ガスと、窒素(N)系ガスもしくは酸素(O)系ガスとを用いるところである。

【0018】第六の発明の特徴は、上記第五の発明において、前記Si系ガスが、モノシラン(SiH₄)もしくはジシラン(Si₂H₆)ガスであり、前記O系ガスが、二酸化窒素(N₂O)であり、前記N系ガスが、アンモニア(NH₃)であるところである。

【0019】第七の発明の特徴は、上記第一、三、四の発明において、前記基板が、サファイア基板であり、前記成長層の少なくともいずれかの層が、In_xAl_yGa(1-x-y)N(0≤X≤1)(0≤Y≤1)で表される層であるところである。

【0020】第八の発明の特徴は、上記第一、三、四の発明において、前記基板が、シリコン(Si)、炭化シリコン(SiC)或いはGaAs基板のいずれかであり、前記成長層の少なくともいずれかの層が、In_xAl_yGa(1-x-y)N(0≤X≤1)(0≤Y≤1)で表される層であるところである。

【0021】第九の発明の特徴は、上記第七、八の発明において、前記In_xAl_yGa(1-x-y)N(0≤X≤1)(0≤Y≤1)で表される層が、GaN、AlN、InGaN、AlGa_{0.5}N、もしくはInAlGa_{0.5}Nのいずれかであるところである。

【0022】第一乃至第九の発明によれば、成長層が外気に晒されることなく、連続して該成長層最表面上に保護薄膜を形成するため、成長層表面に欠陥が発生しにくい。また、製造装置から出した時点で既に成長層表面に誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜が生成されているため、改めて保護薄膜を形成するプロセスが不要である。よって、半導体装置の品質向上のみならず工程の簡略化も同時に達成できる。

【0023】第十の発明の特徴は、上記第二、五、六の発明において、前記誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜の生成の際に、 p 型あるいは n 型の不純物を添加することである。

【0024】第十一の発明の特徴は、上記第十の発明において、前記 p 型不純物が、 Mg あるいは Zn の一方であることである。

【0025】第十乃至第十一の発明によれば、さらに、誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜に添加された不純物が成長層に拡散し、成長層の最上層表面近傍の不純物濃度が上がるため、製造装置から取り出された基板は、 p 型化もしくは n 型化され、表面近傍に高い不純物添加層を有するコンタクト層を得ることができる。

【0026】第十二の発明の特徴は、上記第十または第十一の発明において、前記不純物が添加された前記誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜に、前記同一製造装置内で、連続した熱処理を行うことである。

【0027】第十三の発明は、上記第二、五、六の発明において、前記誘電体薄膜もしくは絶縁薄膜を形成する工程終了後、連続して前記同一製造装置内で、前記基板を $300^{\circ}\text{C} \sim 1300^{\circ}\text{C}$ 内のいずれかの温度で保持、もしくは $1300^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ の範囲内で、終了時の基板温度から一定速度で徐冷を行うことである。

【0028】第十二、第十三の発明によれば、同一製造装置内で連続してアニールを行うことにより、 p 型添加層をより活性化させ、良好な導電特性を得ることができる。製造装置から取り出した時点で p 型化されており、かつ表面の保護も成されているため、さらに工程の簡略化を図ることができる。

【0029】

【発明の実施の形態】以下、図面を用いて本発明の実施形態について説明する。

【0030】（第一実施形態）図1～図3を用いて、本発明の第一実施形態に係わる化合物半導体装置及びその製造方法を説明する。図1は、第一実施形態において、化合物半導体装置の製造に用いる製造装置の簡略構成図である。

【0031】同図に示すように、本製造装置は供給口と排出口を有する密閉可能な成長室10を備えている。排出口には、図示しないが成長室10内を真空排気できるよう排気ポンプが接続されていることが多い。成長室10内には、ヒータを内蔵した基板台11が備えられ、基板21はこの基板台11上に設置される。

【0032】成長室10の供給口には、配管を通じてキャリアガスである N_2 の供給源12と H_2 の供給源13、成長層の原料ガスとなるトリメチルガリウム（TMG）、トリメチルインジウム（TMI）、トリメチルアルミニウム（TMA）および NH_3 それぞれの供給源14～17、さらに各成長層のドーピングガスとなるシクロペンタジエニルマグネシウム（ Cp_2Mg ）の供給源

18と SiH_4 の供給源19がそれぞれ接続されている。各供給源は流量調整のためマスフローメータとバルブを介して共通する配管に接続されている。

【0033】第一実施形態では、基板としてサファイア基板を用い、この基板上にMOCVD法を用いて窒化ガリウム系の各成長層をエピタキシャル成長させ、さらに保護薄膜として誘電体薄膜である SiN_x 膜を成長させた場合について説明する。

【0034】図1に示すように、サファイア基板21（図2（A））を、成長室10内に載置し、キャリアガスとして用いる N_2 および H_2 を流しながら成膜に必要な温度 $800^{\circ}\text{C} \sim 1300^{\circ}\text{C}$ まで基板を昇温する。以下、各成長層の形成中は、継続して N_2 と H_2 のキャリアガスを流し、反応ガスとドーピングガスは、形成する成長層の種類に応じて供給停止操作を使い分ける。なお、圧力条件は成長層および保護薄膜いずれを形成する際も常圧とする。

【0035】まず反応ガス源としてTMGと NH_3 ガスを用いてGa N バッファ層23（図2（B））を形成する。次に、反応ガス源としてTMG、 NH_3 ガス、 n 型のドーピングガス源として SiH_4 を用いて n -Ga N 層25（図2（C））を形成する。さらに、反応ガスとしてTMG、TMI、 NH_3 を用い、ノンドープの I_n Ga N 活性層27（図2（D））を成長させる。この後、TMA、TMG、 NH_3 ガスを反応ガス源として用い、 Cp_2Mg を p 型ドーピングガス源として用いて p -Al Ga N 層29（図3（A））を形成し、引き続きTMGと NH_3 ガスおよび流量を増やした Cp_2Mg を用い、 p^+ -Ga N コンタクト層31（図3（B））を成長させる。

【0036】この成長層最表面の p^+ -Ga N コンタクト層31の形成が終了したら、反応ガスとして用いたTMGとドーピングガスである Cp_2Mg の供給を止め、代わりに上記成長層形成において n 型ドーピングガス源として用いた SiH_4 ガスの供給を開始する。

【0037】即ち、サファイア基板21の上に複数層の成長層23～31が積載された半導体装置を成長室10内に載置したまま、基板温度は成長層23～31の成長終了時の温度である $800^{\circ}\text{C} \sim 1300^{\circ}\text{C}$ を維持し、キャリアガスである N_2 と H_2 、および反応ガスとして用いた NH_3 ガスを流した状態で SiH_4 ガスが成長室10内に供給される。 SiH_4 ガスと NH_3 ガスが反応し、最上層である p^+ -Ga N コンタクト層31の表面に SiN_x 膜（誘電体薄膜）33を連続成長できる。

【0038】この SiN_x 膜33の生成条件は、一般的な熱CVD法による SiN_x 膜形成工程と等価な条件を満足する。 SiN_x 膜33は、少なくともピンホールが生じず、膜応力が発生しにくい厚みである $500\text{\AA} \sim 5000\text{\AA}$ 程度生成させる。この後基板を急冷もしくは徐冷により降温させ、十分温度が下がったら成長室10か

ら基板を取り出す。

【0039】この手法を用いて得られた SiNx 膜では、その製法から成長層との界面に酸化膜が存在しない。また、成長開始時点において反応ガスのバルブを開いてからガスが基板に到達するまでに若干の遅れがあるため、界面付近ではNリッチな SiNx 膜が形成される可能性がある。

【0040】以上、第一実施形態における化合物半導体装置及びその製造方法によれば、成長層23～31を積載させる工程と、保護薄膜33を形成する工程とを同一成長室10で連続して行っているため、成長層最上表面を成長室外部に晒すことなく保護薄膜である SiNx 膜が成長層表面上に形成され、成長層表面を清浄に維持し、化合物半導体装置の特性を大きく向上できる。さらに、上述する第一の実施形態における製造方法によれば、従来別個の装置を用いて行っていた成長層の形成と保護薄膜の形成を同一の装置を用いて行うことにより、基板の降温昇温や基板の搬出搬入に係る工程を減らし、より効率的な生産を行うことが可能となる。

【0041】（第二実施形態）次に、本発明の第二実施形態について説明する。第一実施形態と同様、基板としてサファイア基板を用い、MOCVD法で窒化ガリウム系の各成長層をエピタキシャル成長させ、さらに保護薄膜として SiNx 膜（誘電体薄膜）を成長させた場合について説明する。製造装置としては、第一実施形態と同様、図1に示す装置を用いる。但し第一実施形態と異なる点は、 SiNx 膜を連続成長させた後、さらに連続してアニール工程を行うことである。

【0042】第一実施形態と同様な手順により、図1に示すように、サファイア基板21を成長室10内に載置し、TMG、TMI、TMA、 NH_3 ガス、 Cp_2Mg 、及び SiH_4 ガスの各成長材料を用いてGaNバッファ層23、n-GaN層25、InGa N 活性層27、p-AlGa N 層29、p'-Ga N コンタクト層31を成長させる（図2（A）～図3（B））。

【0043】さらに、複数層の成長層23～31が積載された半導体装置を基板温度800℃～1300℃で維持し、キャリアガスである N_2 と H_2 、および反応ガスとして用いた NH_3 ガスを流したまま成長室10内に SiH_4 ガスを供給し、p'-Ga N コンタクト層31の表面上に SiNx 膜を連続成長させる。

【0044】 SiNx 膜の成長が終了したら、反応ガスである NH_3 ガスおよび SiH_4 ガスの供給を停止するとともに、キャリアガスとして使用した H_2 ガスの供給も停止する。成長室10内には、もう一方のキャリアガスである N_2 のみが供給された状態となる。成長層23～31および保護薄膜33が形成された基板を成長室10内に載置させたまま、基板温度を SiNx を成長させた温度で、もしくは300℃～1300℃、好ましくは700℃～1000℃の範囲に一定時間維持し、成長層の

アニールを行う。このアニール工程により、所定の成長層に添加されたp型不純物がより活性化し、良好なp型特性を示すようになる。

【0045】アニール工程後、半導体装置を所定温度まで降温し、成長室10から取り出す。この状態において、成長層形成後に必要な保護薄膜の形成工程およびアニール工程がともに終了している。

【0046】なお、アニール温度は、 SiNx 膜の成長温度に限るものではなく、必要な温度、またはいくつかの温度の組み合わせでも良い。また、一定温度に保持しなくとも、300℃～1300℃の範囲好ましくは700℃～1300℃の範囲で一定速度で徐冷しても同様なアニール効果を得ることができる。

【0047】（第三実施形態）本発明の第三実施形態を説明する。ここでも第一及び第二実施形態と同様の手順を用いて、サファイア基板上にMOCVD法で窒化ガリウム系の各成長層をエピタキシャル成長させ、さらに保護薄膜である SiNx 膜を成長させる。製造装置としては、第一実施形態同様、図1に示す装置を用いる。但し、保護薄膜を形成する際に、保護薄膜にp型不純物をドーピングする点が先の2つの実施形態と異なる。

【0048】成長層は、第一及び第二実施形態と同様な手順に従い、TMG、TMI、TMA、 NH_3 ガス、 Cp_2Mg 、及び SiH_4 ガスの各成長材料を用いて、サファイア基板21の上にGa N バッファ層23、n-GaN層25、InGa N 活性層27、p-AlGa N 層29、p'-Ga N コンタクト層31を成長させる（図2（A）～図3（B））。

【0049】次に、第一実施形態、第二実施形態と同様に、成長層の形成工程に連続して、同一成長室10内で SiNx 膜（誘電体薄膜）を成長させる。尚、この時 SiNx を形成するために必要な NH_3 ガスおよび SiH_4 ガスとともに成長層形成工程においてp型ドーパント源として用いた Cp_2Mg を同時に供給する。これにより、成長した SiNx 膜にはp型ドーパントであるMgが添加された状態となる。

【0050】この不純物Mgが添加された SiNx 膜33を持つ半導体装置を加熱すると、図4に示すようにp'-Ga N コンタクト層31の表面近傍領域35へ不純物Mgが拡散し、この領域のMg濃度が上がる。この時の加熱は、特別に設ける必要はなく、第一実施形態でも説明したように、成長層23～31の成長終了時の温度あるいは SiNx の成長温度である800℃～1300℃で不純物拡散が開始可能である。また、第二実施形態で述べたような高温保持や、徐冷を行うことでも所望の効果が得られる。このような不純物拡散が行われた化合物半導体装置は、p'-Ga N コンタクト層31に温度の高いp型不純物拡散領域を形成するとともに、アニール効果をも備え、拡散された不純物は活性化され、良好なp型ドーパントとして導電性に寄与する。

【0051】なお、成長層の最上層にn型半導体を形成する構成を採る場合は、上記保護薄膜中にn型ドーパントを添加するとよい。

【0052】（第四実施形態）図2、3及び図5を用いて、本発明の第四実施形態について説明する。第一、第二、第三実施形態においては、化合物半導体装置の基板としてサファイア基板を用い、保護薄膜として SiNx 膜を用いる例を述べたが、第四実施形態では、基板としてシリコン（Si）を用い、保護薄膜として SiOx 膜を用いる例について述べる。

【0053】図5は、第四実施形態において使用する製造装置の構成図である。基本的な構成は図1の装置と共通する。異なる点は、 SiOx 膜の成長ガス源となる N_2O ガス供給源41が、加えられている点である。

【0054】第一実施形態と同様な手順により、図5に示すように基板21として用いるSiウエハを成長室10内の基板台上に載置し、TMG、TMI、TMA、 NH_3 ガス、 Cp_2Mg 、及び SiH_4 ガスの各成長材料を用いてGa N バッファ層23、n-Ga N 層25、InGa N 活性層27、p-AlGa N 層29、p+-Ga N コンタクト層31を成長させる（図2（A）～図3（B））。成長層形成の手順は第一の実施形態と同じ条件を用いることができる。

【0055】成長層23～31の形成が終了したら、キャリアガスとして使用している H_2 、反応ガスとして使用しているTMG、 NH_3 およびドーピングガスとして用いていた Cp_2Mg の供給を停止する。この時点で成長室内はキャリアガスである N_2 ガスのみが供給された状態となる。基板温度を SiO_2 成長温度である $350^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$ まで下げ、基板温度が所定温度に達したら、 SiO_2 膜の成長源としての N_2O ガスと SiH_4 ガスの供給を開始し、p+-Ga N コンタクト層31の表面上に SiO_2 膜を連続成長する。この SiO_2 膜の生成条件は、一般的な熱CVD法による形成工程と等価な条件を満足する。

【0056】 SiO_2 膜は、少なくともピンホールが生じず、膜応力が発生しにくい厚みである $500\text{\AA} \sim 5000\text{\AA}$ 程度生成させる。この後基板を急冷もしくは徐冷により降温させ、あるいは第二実施形態と同様に、 SiO_2 膜形成後、基板温度をそのまま、あるいは好ましくは $700^\circ\text{C} \sim 1000^\circ\text{C}$ の温度範囲でかつ N_2 雰囲気中でアニール処理を行ってもよい。

【0057】なお、上述の第三実施形態における方法で形成した半導体製造装置では、成長層表面が高温でV族ガスである NH_3 ガスなしの状態成長室10内で短時間露出され、そこに N_2O ガスの供給がなされるため、V族抜けとこのV族抜けに対応する部位にO、Nが入り、p+-Ga N コンタクト層31と保護薄膜33である SiO_2 膜界面にGa OxNy 層がごく薄く形成される可能性がある。また、 N_2O ガスに遅れて SiH_4 を供給

開始する場合は、形成した SiO_2 膜の厚み方向にオリッチからシリッチに組成が変化する領域が存在する場合がある。

【0058】（第五実施形態）図2、3及び図5を用いて、本発明の第五実施形態について説明する。第一、第二、第三実施形態においては、化合物半導体装置の基板21としてサファイアを用い、保護薄膜33として SiNx 膜を用いる例を述べたが、第五実施形態では、基板としてシリコンカーバイド（SiC）を用い、保護薄膜33としてオキシナイトライド（SiON）膜を用いる例について述べる。

【0059】第五実施形態においても、図5に示す、第四実施形態で使用する製造装置を用いることができる。第一実施形態と同様な手順により、基板21として用いるSiウエハを成長室10内の基板台上に載置し、TMG、TMI、TMA、 NH_3 ガス、 Cp_2Mg 、及び SiH_4 ガスの各成長材料を用いてGa N バッファ層23、n-Ga N 層25、InGa N 活性層27、p-AlGa N 層29、p+-Ga N コンタクト層31を成長させる（図2（A）～図3（B））。成長層形成の手順は第一実施形態と同じ条件を用いることができる。

【0060】成長層23～31の形成が終了したら、キャリアガスである H_2 、反応ガスであるTMGおよびドーピングガスである Cp_2Mg の供給を停止する。この時点で成長室内はキャリアガスである N_2 ガスと反応ガスである NH_3 のみが供給された状態となる。基板温度を SiON 膜の成長温度である $500^\circ\text{C} \sim 1200^\circ\text{C}$ まで下げ、基板温度が所定温度に達したら、他の SiON 膜の成長源である N_2O ガスと SiH_4 ガスの供給を開始する。 SiH_4 ガスの供給とともに、p+-Ga N コンタクト層31の表面上に SiON 膜の成長が開始される。この SiON 膜の生成条件は、一般的な熱CVD法による形成工程と等価な条件を満足する。

【0061】 SiON 膜は、少なくともピンホールが生じず、膜応力が発生しにくい厚みである $500\text{\AA} \sim 5000\text{\AA}$ 程度生成させる。この後基板を急冷もしくは徐冷により降温させ、あるいは第二実施形態と同様に、 SiON 膜形成後、基板温度をそのまま、あるいは好ましくは $700^\circ\text{C} \sim 1000^\circ\text{C}$ の温度範囲でかつ N_2 雰囲気中でアニール処理を行ってもよい。

【0062】なお、 N_2O ガスに遅れて SiH_4 を供給開始する場合には、形成した SiON 膜の厚み方向にオリッチからシリッチに組成が変化する領域が存在する場合がある。

【0063】（第六実施形態）図2、3及び図6を用いて、本発明の第六実施形態について説明する。ここでは化合物半導体装置の基板21としてガリウム砒素（GaAs）を用い、保護薄膜33として SiON 膜を用いる例を述べる。

【0064】GaAsは、いわゆるV族抜けを起こしや

すい材料であるため、高温加熱が必要なMOCVD法を使用する際の基板として用いることは困難である。そこで、第六実施形態においては、第一～第五実施形態とは異なり、GS-MBE (Gassorce-Molecular Beam Epitaxy) 法を用いて成長層を形成する。

【0065】図6は、第六実施形態において使用する製造装置の簡略的構成図である。同図に示すように、ここで使用する製造装置は、超高真空中に維持することが可能な成長室51を有する。成長室51の周囲には、同室内を超高真空中とするための高真空ポンプ53や、成長室内を超高真空中に維持したまま基板の搬入搬出を行うためのターボ分子ポンプ54が接続されたロードロックチャンバー等が備えられている。

【0066】成長層を形成するための蒸気源として、SiH₄ガス供給源61、N₂ガス供給源62、O₂ガス供給源63、TMGa供給源64が備えられ、各供給源から出るガスはガスセル56を通り成長室10内に入り、さらに液体窒素シュラウド57内の細管を介して蒸気化がなされる。成長室内は超高真空中に維持されているため、各細管より蒸発する分子は方向の揃った分子ビーム状となる。蒸発源の選択は、シャッター58の開閉および蒸気源への選択的なレーザー照射により行う。

【0067】なお、成長室51内は超高真空中に維持されているため、同装置に種々の分析装置も備えており、膜成長をさせながらその場での膜成長層の分析が可能であり、原子層レベルの制御を行うこともできる。

【0068】成長層21～31の形成は、基板温度を比較的低温に抑えたまま、成長室内を10⁻⁸Pa程度の超高真空状態とし、蒸気化させるガスを順次選択し、GaNバッファ層23、n-GaN層25、InGaN活性層27、p-AlGaIn層29、p⁺-GaNコンタクト層31を成長させる(図2(A)～図3(B))。例えば、GaNバッファ層23は、N₂とTMGaを同時に蒸気化させることにより形成する。他の成長膜も順次同様な方法で成長させる。

【0069】成長層23～31の形成が終了したら、成長層が積層されたGaAs基板を成長室51内に載置したまま、O₂、N₂およびSiH₄原料を蒸気源として選択する。成長層表面には、原子レベルで制御された保護薄膜であるSiON膜が形成される。なお、保護薄膜としてSiO₂、SiNx膜等を形成しても勿論よい。

【0070】このように、同一装置内で連続して成長層および保護薄膜層を形成するため、成長層表面を清浄に維持しうる化合物半導体装置を提供できる。また、第六実施形態においては、原子層レベルでの制御が可能なGS-MBE法を用いて成長層および保護薄膜を形成しているため、各層の界面では組成変化が急峻に起こっていることが予想される。

【0071】以上、各実施形態に基づいて本発明内容を説明したが、本発明は上述する実施形態に制限されるも

のではない。例えば、第一乃至第六実施形態では、保護薄膜33の成長材料としてSi系ガス源としてSiH₄ガスを用いているが、ジシラン(Si₂H₆)等の高次のガスを用いることも可能である。

【0072】また、各成長層としては、In_xAl_yGa_(1-x-y)N (0 ≤ x ≤ 1) (0 ≤ y ≤ 1) で表される、他の層、例えばAlN、p-AlN、p-InGaIn、p-InGaAlN等が含まれていても同様な効果を得ることができる。

【0073】さらに第三実施形態ではCp₂Mgを用いてp型ドーパントであるMgを添加したが、この代りにジメチル亜鉛(DMZn)からZnをp型ドーパントとして保護薄膜33内に添加してもよい。

【0074】なお、いずれの実施形態も成長層の構成例として一般的な青色発光ダイオード素子で用いられる成長層の構成を示しているが、成長層の構成はその他にも半導体レーザ等の別の構成であってもよく、限定されるものではない。

【0075】

【発明の効果】以上説明してきたように、本発明の化合物半導体装置及びその製造方法によれば、成長層の積載の後に連続して保護薄膜を形成しているため、製造装置から出した時点で既に成長層表面に保護薄膜が形成されている。このため、成長層表面に欠陥が発生しにくい。また、改めて表面保護膜を形成する工程が不要となるため、工程を簡略化することができる。また、アニール工程や不純物拡散等も連続して行えるため、より品質が高い化合物半導体装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る第一乃至第三実施形態において使用する製造装置の簡略な構成図である。

【図2】本発明の第一乃至第六実施形態における製造方法を説明するための各工程における化合物半導体装置の部分断面図である。

【図3】本発明の第一乃至第六実施形態における製造方法を説明するための各工程における化合物半導体装置の部分断面図である。

【図4】本発明の第三実施形態を説明するための化合物半導体装置の部分断面図である。

【図5】本発明に係る第四、第五実施形態において使用する製造装置の簡略な構成図である。

【図6】本発明に係る第六実施形態において使用する製造装置の簡略な構成図である。

【図7】従来の化合物半導体装置の断面構造図である。

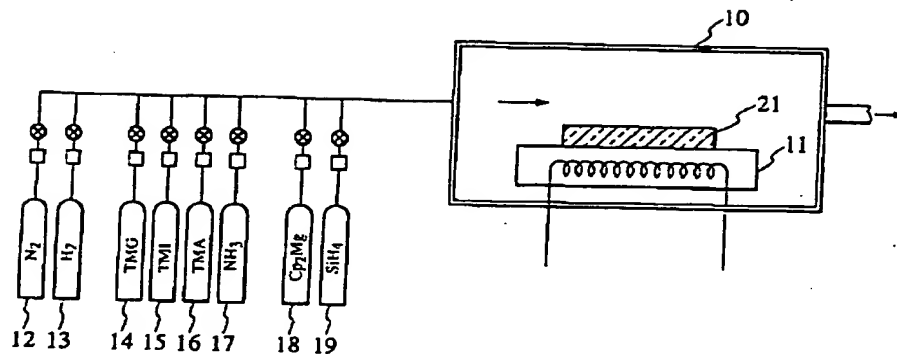
【符号の説明】

- 10 成長室
- 11 基板台
- 12 N₂供給源
- 13 H₂供給源
- 14 TMG供給源

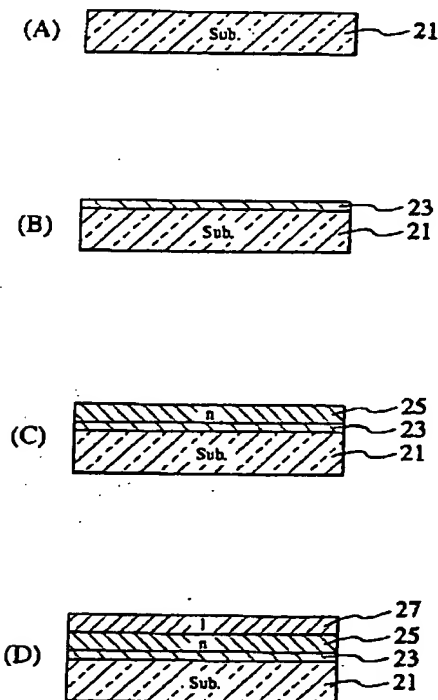
- 15 TMI供給源
- 16 TMA供給源
- 17 NH₃供給源
- 18 Cp₂Mg供給源
- 19 SiH₄供給源
- 21 基板
- 23 GaNバッファ層

- 25 n-GaN層
- 27 InGaN活性層
- 29 p-AlGaIn層
- 31 p⁺-GaNコンタクト層
- 33 保護薄膜
- 35 表面近傍領域
- 41 N₂O供給源

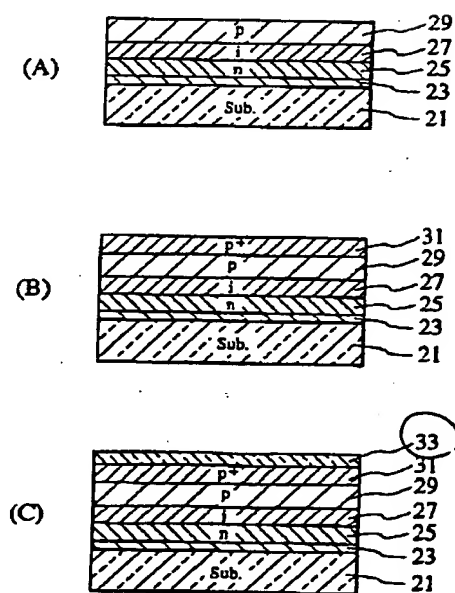
【図1】



【図2】

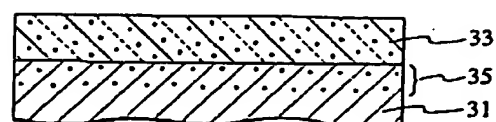


【図3】

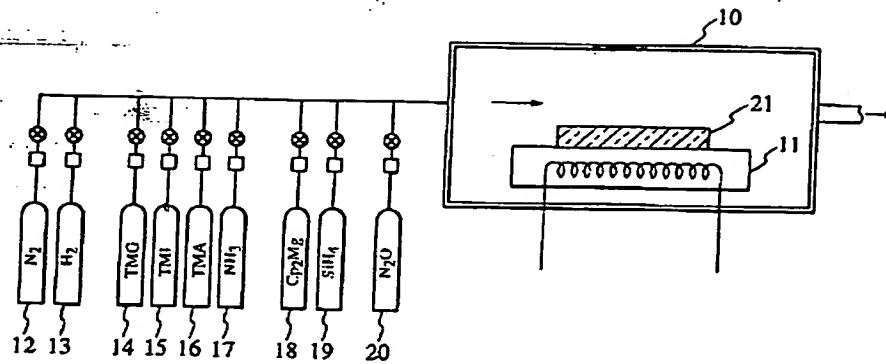


保護膜
SiON

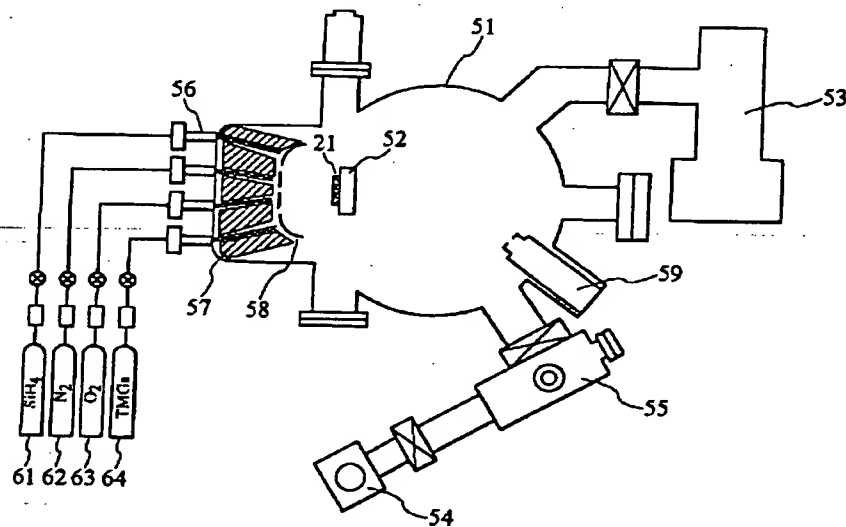
【図4】



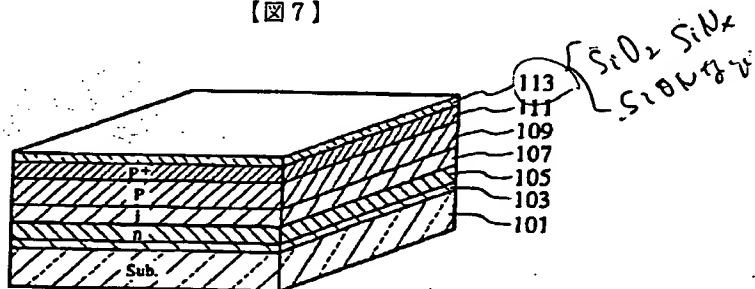
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き――

(72)発明者 菅原 秀人

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地 株式会社東芝川崎事業所内

(72) 発明者 磯本 建次

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地 株式会社東芝川崎事業所内